AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

Praca magisterska

Łukasz Pawlik

kierunek studiów: **Informatyka Stosowana**

Opracowanie systemu szybkiego przesyłania danych z wykorzystaniem standardu USB

Promotor: **dr inż. Bartosz Mindur**

Kraków, 2015

Oświadczam, świadoma odpowiedzialności karnej za poświadczenie nieprawdy, że niniejszą pracę dyplomową wykonałam osobiście i samodzielnie i nie korzystałam ze źródeł innych niż wymienione w pracy.

.....

(czytelny podpis)

Merytoryczna ocena pracy przez Opiekuna:

Ocena końcowa pracy przez Opiekuna:

Data: Podpis: .....

Merytoryczna ocena pracy przez Recenzenta:

Ocena końcowa pracy przez Recenzenta:

Data: Podpis: .....

Spis treści

I. Wstęp

Rozwój technologi, zwłaszcza w zakresie elektroniki, w przeciągu minionego ćwierćwiecza stał się imponujący. Udało się doprowadzić różne skomplikowane układy scalone do rozmiarów wielkości pudełka zapałek, których złożoność obliczeniowa przekracza najśmielsze oczekiwania z przed kilku lat.

Celem niniejszej pracy było uzyskanie możliwie największej prędkości przesyłu danych pomiędzy urządzeniem zewnętrznym a komputerem osobistym w obu kierunkach, z wykorzystaniem wspomnianego interfejsu.

W pracy przedstawiono najważniejsze fakty historyczne dotyczące standardu USB (zawarte w rozdziale II, a także scharakteryzowano zachowania interfejsu w dwóch istotnych trybach: synchronicznym oraz asynchronicznym. Kolejne rozdziały zawierają opis standardu USB, rozpatrywanego w kontekście sprzętowym i oprogramowania.

Rozdział III posłużył do opisu zastosowanych bibliotek USB, do których między innymi należą: libUSB oraz winUSB. Obie z nich służą do komunikacji z urządzeniami z portami USB. Pierwsza używana jest zarówno pod systemem Windows jak i pod systemem Unix natomiast użycie drugiej z nich możliwe jest tylko pod systemami Windows.

W kolejnym rozdziale znajduje się charakterystyka poszczególnych funkcji biblioteki libUSB użytej w projekcie. Rozdział IV opisuje szczegółowo warunki użycia danej funkcji, wraz z zwracanym wartościami.

Rozdział V stanowi krótki opis mikrokontrolera użytego w projekcie. Zawiera on również rysunek poglądowy opisujący poszczególne elementy mikrokontrolera w tym ważne z punktu widzenia projektu.

Rozdział VI zawiera szczegóły implementacyjne. Opisuje klasę bazową wraz z podstawowymi ustawieniami oraz ustawienia i sposób wykonania testu dla poszczególnych interfejsów.

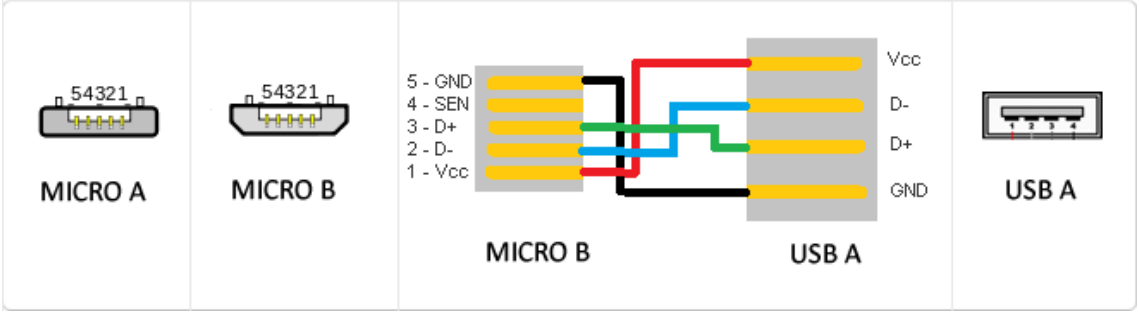
Podsumowanie przeprowadzonych symulacji zawarte zostało w rozdziale VII. Zawiera on zestawienie i interpretację otrzymanych wyników w zakresie synchronicznego oraz asynchronicznego przesyłania danych za pomocą USB. Została w nim zaprezentowana dodatkowa symulacja, aby sprawdzić zachowanie interfejsu w mniej dostępnym środowisku.

II. USB

Uniwersalna Magistrala Szeregowa jest to standard opracowany w latach 90. XX w. definiujący jakie kable, złącza oraz protokoły mają być używane podczas połączenia, komunikacji oraz definiuje sposób zasilania pomiędzy komputerem i urządzeniem elektronicznym. USB zostało zaprojektowane aby ułatwić połączenia standardowych elektronicznych urządzeń takich jak klawiatury, myszki, drukarki, aparaty cyfrowe, dyski przenośne do komputerów osobistych. Wszystkie te urządzenia są dodatkowo zasilane również za pomocą tego portu. Z czasem stało się to wspólne również dla innych urządzeń takich jak smartphony, palmtopy oraz konsole wideo.
USB szybko zastąpiło porty szeregowe oraz równoległe podobnie jak inne urządzenia zasilające elektroniczne urządzenia.

II.1. Złącza

Istnieją trzy podstawowe rodzaje złączy USB dla których kryterium podziału stanowi wielkość. Najstarszy rozmiar (używany np. w pendrive'ach) występuje w standardach USB1.1, USB2.0, USB3.0, mini-USB (początkowo tylko dla złącza typu B, jak w wypadku wielu aparatów cyfrowych) oraz mikro-USB występuje również w trzech wariantach dla USB1.1, USB2.0, USB3.0 (dla przykładu używany w nowych telefonach komórkowych).
W przeciwieństwie do innych kabli do przesyłu danych (np. Ethernet, HDMI) każdy koniec kabla zakończony jest innym typem złącza (typem A lub typem B). Tylko złącze typu A dostarcza zasilanie. Zostało to zaprojektowane w taki sposób aby uniknąć elektrycznych przeciążeń a co za tym idzie uszkodzeniu urządzeniu. Istnieją również kable ze złączami typu A na obu końcach, ale nie należą do popularnych (i należy postępować z nimi ostrożnie). Kable USB maja zazwyczaj złącze typu A z jednej strony oraz złącze typu B z drugiej oraz wejście w komputerze lub urządzeniu elektronicznym. w przyjętej praktyce złącze typu A jest zazwyczaj największej (z możliwych wielkości), natomiast B w zależności od potrzeb użycia kabla (full, mini, micro).



Rys. II.1. *Połączenie przewodów w micro-USB*

II.2. Historia

USB zapoczątkowało w 1994 siedem firm: Compaq, DEC, IBM, Intel, Microsoft, NEC, Nortel. Celem było uproszczenie podłączenia zewnętrznych urządzeń do komputera zastępując stare złącza w płytach głównych wprowadzając rozwiązania na problemy znalezione w starych oraz upraszczając software. Pierwszy układ scalony wspierający USB został wyprodukowany przez Intel 1995r.

II.2.1. USB1.x

Pierwsza oficjalna wersja standardu USB została wydana w styczniu 1996r. USB1.0 charakteryzowała prędkość 1,5 Mbit/s (Low Speed) oraz 12 Mbit/s (Full Speed). Nie pozwalał jednak na używanie przedłużaczy kabli, wynikało to z limitów zasilania. Powstało kilka wypuszczono na rynek na chwile przed wydaniem standardu USB1.1 w sierpniu 1998r. W USB1.1 poprawiono kilka błędów znalezionych w USB1.0 i był to pierwszy standard, który został oficjalnie zaimplementowany w standardowych komputerach osobistych.

II.2.2. USB2.0

USB2.0 zostało wydane w kwietniu 2000r. udostępniając maksymalny przesył sygnału rzędu 480 Mbit/s (60MB/s) nazwany High Speed (USB1.x za pomocą Full Speed umożliwiał przesył rzędu 12Mbit/s). Biorąc pod uwagę zależności dostępu do magistrali przepustowość High Speed ogranicza się do 280 Mbit/s (35 MB/s).

Przyszłe modyfikacje do specyfikacji USB zostały zaimplementowane przez "Engineering Change Notitices" (ECN). Najważniejsze z ECNów zostały dołączone do specyfikacji USB2.0 dostępnej na stronie internetowej USB.org.
Przykłady ECNow:
Złącze Mini-A oraz Mini-B: wydane w październiku 2000r.

II.2.3. USB3.0

Standard USB3.0 został wydany w listopadzie 2008r. definiujący zupełnie nowy tryb "SuperSpeed". Port USB zwyczajowo jest w kolorze niebieskim i kompatybilny z urządzeniami USB2.0 oraz kablami.
Dokładnie 17 listopada 2008r. ogłoszono iż specyfikacja dla wersji 3.0 została całkowicie ukończona i została zaakceptowana przez "USB Implementers Forum" (USB-IF), czyli głównej instytucji zajmującej się specyfikacjami standardu USB. To pozwoliło na szybkie udo-

stępnienie standardu deweloperom.
Nowa magistrala "SuperSpeed" dostarcza czwarty typ transferu z możliwością przesyłania sygnału z prędkością 5GBit/s, ale poprzez użycie kodowania 8b/10b przepustowość wynosi 4Gbit/s. Specyfikacja uznaje za zasadne osiągniecie prędkości w okolicach 3,2 Gbit/s (400 MB/s) co w założeniach powinno się zwiększać wraz z rozwijaniem hardwaru. Komunikacja odbywa się w obu kierunkach dla SuperSpeed (kierunek nie jest naprzemienny i nie jest kontrolowany przez hosta, jak to ma miejsce do wersji USB2.0).
Podobnie jak w poprzednich wersjach standardu, porty USB3.0 działają dwóch wariantach zasilania: niskiego poboru mocy (low-power: 150mA) oraz wysokiego poboru mocy (high-power: 900mA). Zapewniając odpowiedni jednocześnie pozwalają na przesył danych z prędkością SuperSpeed.
Została dodatkowo zdefiniowana specyfikacja zasilania (w wersji 1.2 wydana w w grudniu 2010r.) która zwiększała dopuszczalny pobór mocy do 1,5A, ale nie pozwala na współbieżne przesyłanie danych. Specyfikacja wymaga aby fizyczne porty same w sobie były wstanie obsłużyć 5A, ale ogranicza pobór do 1,5 A.

II.2.4. USB3.1

W styczniu 2013r. w prasie pojawiły się informacje o planach udoskonalenia standardu USB3.0 do 10Gbit/s. Zakończyło się to stworzeniem nowej wersji standardu - USB3.1. Wersja ta została wydana 31 lipca 2013r. wprowadzając szybszy typ przesyłania danych zwany "SuperSpeed USB 10 Gbit/s". Zaprezentowano również nowe logo stylizowane na zasadzie "Superspeed+". Standard USB3.1 zwiększył szybkość przesyłu sygnału do 10Gbit/s. Udało się też zredukować obciążenie łącza do 3% dzięki zmianie kodowania na 128b/132b.
Przy pierwszych testach prędkośi USB3.1 udało się uzyskać prędkość 7,2Gbit/s.
Standard USB3.1 jest wstecznie kompatybilny ze standardem USB3.0 oraz USB2.0.

III. Biblioteki

III.1. libUSB

LibUSB jest biblioteką stworzoną w 2007 roku. Napisana w języku C pozwala na prosty i łatwy dostęp do urządzenia USB. Jest w 100% przeznaczona dla użytku developera. Biblioteka ma za zadanie ułatwić pisanie aplikacji opartych na komunikacji USB z mikrokontrolerem. Biblioteka libUSB jest przenośna a co za tym idzie dostępna na wiele platform (Linux, OS X, Windows, Android, OpenBSD, etc.) wraz z niezmiennym API. Nie są wymagane dodatkowe uprawnienia aby komunikacja z urządzeniem przebiegała poprawnie. Wspiera standardy USB:

- USB1.0
- USB1.1
- USB2.0
- USB3.0

Funkcjonalność biblioteki:

1. wszystkie typy transferu są wspierane (control, bulk, interrupt, isochronous)
2. 2 interfejsy
   (a) synchroniczny (prosty)
   (b) asynchroniczny (bardziej złożony ale bardziej efektywny)
3. stosowanie wątków jest bezpieczne
4. lekka biblioteka z prostym API
5. kompatybilna wstecznie (do wersji libUSB-0.1)

III.2. winUSB

Microsoft Windows począwszy od systemu Windows Vista wprowadził nowy zestaw bibliotek umożliwiający developerom korzystnie z portów USB. WinUSB udostępnia proste API, które pozwala aplikacji na bezpośredni dostęp do portów USB. Został stworzony w gruncie rzeczy dla prostych urządzeń obsługiwanych tylko przez jedną aplikację takich jak urządzenia do odczytu wskaźników pogodowych czy też innych programów które potrzebują szybkiego i bezpośredniego dostępu do portu. WinUSB udostępnia API aby odblokować developera przy pracy z portami USB z poziomu user-mode. W Windowsie 7 USB Media Transfer

Protocol (MTP) używa winUSB zamiast poprzednio stosowanych rozwiązań kernela (krenel mode filter driver).

Media Transfer Protocol jest rozszerzeniem PTP (Picture Transfer Protocol) i jest protokołem pozwalającym na przesyłanie atomowe plików audio oraz wideo z oraz do urządzenia. PTP początkowo został zaprojektowany do ściągania zdjęć, obrazów z aparatów cyfrowych, Media Transfer Protocol pozwala na przesyłanie plików muzycznych z cyfrowych urządzeń odtwarzających muzykę oraz pliki video z urządzeń pozwalających na ich odtworzenie.

MTP jest częścią frameworku "Windows Media" blisko związanym z odtwarzaczem Windows Media Player. Systemy Windows począwszy od Windows XP SP2 wspierają MTP. Windows XP wymaga Windows Media Player w wersji 10 lub wyższej, późniejsze wersje systemu wspierają już go domyślnie. Microsoft posiada dodatkowo możliwość zainstalowania MTP na wcześniejszych wersjach systemu ręcznie do wersji Microsoft Windows 98.

Twórcy standardu USB ustandaryzowali MTP jako pełnoprawną klasę dla urządzeń USB w maju 2008r. Od tamtej pory MTP jest oficjalnym rozszerzeniem PTP i współdzieli ten sam kod klasy.

W projekcie została użyta biblioteka libUSB. Głównym powodem była możliwość kompilacji programów zarówno pod systemami Unix jak i z rodziny Microsoft Windows bez jakichkolwiek (lub znikomych) zmian w kodzie.

IV. libUSB API

IV.1. najważniejsze struktury

IV.1.1. libusb_context

libusb_context jest strukturą reprezentującą sesję libusb.
Koncepcja indywidualnych sesji libusb pozwala aby program mógł korzystać z dwóch bibliotek (lub dynamicznie ładować dwa moduły) z których obie nie zależnie korzystają z libusb. To zapobiega ingerencji (interferencji) pomiędzy dwoma programami używającymi libusb. Dla przykładu libusb_set_debug() nie zaingeruje w działanie innego programu korzystającego z libusb, natomiast libusb_exit() nie wyczyści pamięci używanej przez inny program libusb.
Sesje tworzone są za pomocą libusb_init() oraz czyszczone za pomocą libusb_exit(). Jeśli zagwarantowane jest to, że dana aplikacja jest jedyną która korzysta z libusb, twórca jej nie musi przejmować się kontekstami (strukturą libusb_context), wystarczy aby przekazywał do wszystkich funkcji, gdzie struktura jest wymagana wartość NULL. Jest to równoważne z użyciem domyślnego kontekstu.

IV.1.2. libusb_device_handle

Struktura reprezentująca uchwyt do urządzenia USB.
Jest to nieprzejrzysty typ, użycie jest możliwe tylko za pomocą wskaźnika, zazwyczaj dostarczanego za pomocą funkcji libusb_open().
Uchwyt do urządzenia USB jest używany do wykonywania operacji wejścia/wyjścia. Po zakończeniu wszystkich operacji należy wywołać libusb_close().

IV.2. najważniejsze funkcje

IV.2.1. libusb_init

Inicjalizacja biblioteki.
Funkcja musi zostać wywołana przed wywołaniem jakiejkolwiek innej funkcji z biblioteki libUsb.
Jeśli w argumencie nie zostanie dostarczony żaden wskaźnik (wyjściowy) kontekstu, zostanie stworzony domyślny kontekst. W przypadku jeśli domyślny kontekst już istnieje zostanie on ponownie użyty (bez ponownej inicjalizacji).

Funkcja zwraca wartość 0 w wypadku powodzenia, w przeciwnym wypadku zwraca kod błędu.

IV.2.2. libusb_open_device_with_vid_pid

Wygodna funkcja służąca odszukaniu konkretnego urządzenia na podstawie jego vendorId oraz productId (są to parametry charakteryzujące każde urządzenie).
Ta funkcja jest używana w przypadkach kiedy z góry jest znane vendorId oraz productId. Najczęściej są to przypadki pisania aplikacji aby przetestować jakąś określoną funkcjonalność.
Funkcja pozwala uniknąć wywołanie libusb_get_device_list() i dbania o odpowiednie czyszczenie pamięci po liście.
Pierwszym parametrem jest kontekst uzyskany za pomocą libusb_init().
Kolejnymi parametrami są vendorId oraz productId.
Funkcja zwraca uchwyt do znalezionego urządzenia, lub NULL w wypadku kiedy nie może znaleźć pożądanego urządzenia (o podanym productId oraz vendorId) lub błędu.

IV.2.3. libusb_kernel_driver_active

Funkcja sprawdzająca czy sterownik jądra kernela jest aktywny na interfejsie.
W wypadku kiedy sterownik jądra jest aktywny nie możliwe jest zgłoszenie użycia interfejsu, a co za tym idzie libUSB nie może wykonać operacji wejścia/wyjścia.
Funkcjonalność jest nie dostępna w systemie Windows.
Do funkcji należy przekazać uchwyt do urządzenia oraz numer interfejsu.
Funkcja zwraca wartość 0, jeśli żaden sterownik jądra nie jest aktywny, wartość 1 w wypadku jeśli istnieje aktywny sterownik jądra.
W wypadku błędów: LIBUSB_ERROR_NO_DEVICE jeśli urządzenie zostanie odłączone, LIBUSB_ERROR_NOT_SUPPORTED dla platform, gdzie funkcjonalność nie jest wspierana oraz inny kod błędu w wypadku innego błędu.

IV.2.4. libusb_detach_kernel_driver

Dzięki funkcji możliwe jest odłączenie sterownika jądra kernela od interfejsu.
Sukces operacji umożliwi zgłoszenie użycia interfejsu i wykonanie operacji wejścia/wyjścia.
Funkcjonalność nie jest dostępna dla systemu Windows.
Parametrami są uchwyt do urządzenia oraz numer interfejsu.
Funkcja zwraca wartość 0 w momencie powodzenia, LIBUSB_ERROR_NOT_FOUND jeśli żaden sterownik nie był aktywny, LIBUSB_ERROR_INVALID_PARAM jeśli interfejs nie istniej, LIBUSB_ERROR_NO_DEVICE jeśli urządzenie zostało odłączone, LIBUSB_ERROR_NOT_SUPPORTED

dla platform, gdzie funkcjonalność nie jest wspierana lub inny kod błędu w wypadku inne błędu.

IV.2.5. libusb_claim_interface

Dzięki funkcji libusb_claim_interface() możliwe jest zgłoszenie użycia danego interfejsu dla danego urządzenia.
Wywołanie funkcji jest wymagane przed wykonaniem operacji wejścia/wyjścia dla dowolnego punktu końcowego interfejsu.
Jest dozwolone wywołanie funkcji dla interfejsu już wcześniej zgłoszonego, w tym wypadku zostanie zwrócona wartość 0 bez wykonywania żadnych operacji.
W wypadku jeśli zmienna auto_detach_kernel_driver jest ustawiona na wartość 1 dla danego urządzenia (zmienna ustawiana za pomocą funkcji: libusb_set_auto_detach_kernel_driver()) sterownik jądra zostanie odłączony (jeśli to konieczne), w przypadku niepowodzenia zostanie zwrócony błąd odłączenia.
Sama procedura wewnątrz funkcji nie jest skomplikowana, nie wymaga wysyłania czegokolwiek po magistrali. Są to proste instrukcje mówiące systemowi operacyjnemu iż aplikacja chce korzystać z danego interfejsu.
Nie jest to funkcja blokująca.
Parametrami są uchwyt do urządzenia oraz numer interfejsu zgłaszanego.
Wartość 0 zostaje zwrócona w wypadku powodzenia operacji.
W wypadku niepowodzenia kody błędu t.j. LIBUSB_ERROR_NOT_FOUND jeśli podany interfejs nie istnieje, LIBUSB_ERROR_BUSY jeśli inny program lub sterownik zarezerwował dany interfejs, LIBUSB_ERROR_NO_DEVICE jeśli urządzenie zostało odłączone oraz inne.

IV.2.6. libusb_bulk_transfer

Dzięki funkcji możliwy jest przesył większej grupy danych.
Kierunek jest określony na podstawie bitów kierunkowych punktu końcowego interfejsu.
Dla odczytu, jeden z parametrów określa ilość danych jaka jest spodziewana przy odczycie. Jeżeli odebrana zostanie mniejsza ilość danych niż oczekiwana, funkcja po prostu zwróci te dane wraz z dodatkowym parametrem określającym ilość otrzymanych danych. Istotne przy odczycie jest to aby sprawdzić czy ilość oczekiwanych danych jest taka jak odczytana.
W wypadku zapisu również należy sprawdzić czy ilość danych wysłanych pokrywa się z ilością danych skierowaną do wysyłki.
Wskazana jest również weryfikacja ilości danych wysłanych/odebranych w wypadku wystąpienia timeoutu (funkcja zwróci kod błędu określający timeout). libUSB może podzielić wysyłane dane na mniejsze części i timeout może wystąpić po wysłaniu kilku z nich. Ważne jest

to, że nie oznacza to iż nic nie zostało wysłane/odebrane, dlatego należy sprawdzić ilość elementów wysłanych/odebranych i dostosować odpowiednio kolejne kroki.
Funkcja przyjmuje następujące parametry: uchwyt urządzenia z którym aplikacja będzie się komunikować, adres punktu końcowego interfejsu po którym będzie odbywała się komunikacja, wskaźnik do pamięci danych która ma zostać przetransferowana (w wypadku zapisu) lub odebrana (w wypadku odczytu), ilość danych do wysłania (w przypadku zapisu) lub oczekiwana ilość danych do odebrania (w przypadku odczytu), ilość danych przetransferowanych (w obu przypadkach), maksymalna długość czasu na wykonanie operacji, dla nieograniczonego należy użyć wartości równej 0.
W przypadku poprawności działania funkcja zwraca wartość 0 oraz ilość przetransferowanych danych przekazanych do funkcji za pomocą wskaźnika.
W przeciwnym wypadku funkcja zwraca: LIBUSB_ERROR_TIMEOUT jeśli transfer przekroczył określony czas, LIBUSB_ERROR_PIPE jeśli wystąpił błąd związany z punktem końcowym, LIBUSB_ERROR_OVERFLOW jeśli urządzenie wysłało więcej danych niż przewidziane w buforze, LIBUSB_ERROR_NO_DEVICE jeśli urządzenie zostało odłączone oraz inne.

IV.2.7. libusb_release_interface

Funkcja zwalnia rezerwacje wcześniej zgłoszonego interfejsu za pomocą funkcji libusb_claim_interface().
Zwolnienie wszystkich interfejsów jest wymagane przed zamknięciem urządzenia.
Nie jest to blokująca funkcja.
W wypadku jeśli zmienna auto_detach_kernel_driver jest ustawiona na wartość 1 dla danego urządzenia (zmienna ustawiana za pomocą funkcji: libusb_set_auto_detach_kernel_driver()) sterownik jądra zostanie ponownie podłączony zaraz po zwolnieniu interfejsu.
Parametrami są: uchwyt urządzenia oraz numer interfejsu dla niego poprzednio zarezerwowanego.
Metoda zwraca 0 gdy wszystkie operacje się powiodą.
W przeciwnym wypadku zwraca: LIBUSB_ERROR_NOT_FOUND jeśli interfejs nie został poprzednio zarezerwowany (zgłoszony do użycia), LIBUSB_ERROR_NO_DEVICE jeśli urządzenie zostało odłączone oraz inne.

IV.2.8. libusb_close

Zwalnia uchwyt do urządzenia.
Funkcja powinna być wołana na wszystkich używanych uprzednio uchwytach.
Funkcja pokrótce niszczy referencje stworzoną za pomocą libus_open() dla danego urządzenia.
Jest to funkcja nie blokująca.

Parametrem jest uchwyt przeznaczony do zamknięcia.

IV.2.9. libusb_exit

Funkcja zamyka dostęp do biblioteki.
Powinna być wołana po zamknięciu wszystkich otwartych urządzeń ale przed zakończeniem działania programu.
Parametrem jest contekst który ma zostać zamknięty, w wypadku wartości NULL wybierany jest domyślny.

IV.2.10. libusb_alloc_transfer

Funkcja przygotowuje transfer z wyspecyfikowaną ilością izochronicznych deskryptorów pakietów.
Funkcja zwraca uchwyt do zainicjalizowanego transferu. Kiedy wszystkie operacje zostaną na nim wykonane należy wywołać libusb_free_transfer().
Transfer przygotowywany dla nie izochronicznego punktu końcowego należy wywoływać z wartością zero jako ilość izochronicznych pakietów.
Dla transferów izochronicznych wymagane jest podanie prawidłowej wartości deskryptorów pakietów jakie mają zostać zalokowane w pamięci. Zwracany transfer nie jest domyślnie zainicjalizowany jako izochroniczny, wymagane dodatkowo jest ustawienie pola libusb_iso_packets oraz type.
Alokowanie transferu jako izochroniczny (z podana ilością deskryptorów pakietów do zalokowania) a następnie używanie transferu jako nie izochroniczny jest w 100% bezpieczne ale pod warunkiem jeśli pole num_iso_packets jest ustawione na zero oraz pole type jest ustawione prawidłowo.
Funkcja jako prametr przyjmuje ilość izochronicznych deskryptorów pakietów.
Zwracaną jest zalokowany transfer lub NULL w wypadku błędu.

IV.2.11. libusb_fill_bulk_transfer

Funkcja pozwala na łatwe przygotowanie struktury libusb_transfer na transfer masowy.
Parametrami są:

- uchwyt do ustawianego transferu
- uchwyt do urządzenia dla którego ustawiany jest transfer
- adres punktu końcowego gdzie dane mają zostać wysłane
- bufor danych do wysłania/odebrania
- długość (wielkość) wysyłanych/odbieranych danych
- wskaźnik do funkcji która ma się wywołać po zakończeniu transferu (callback)

- dodatkowe dane, które programista może opcjonalnie wysłać do funkcji wywołanej po zakończeniu transferu
- czas oczekiwania w milisekundach na zakończenie transferu

IV.2.12. libusb_submit_transfer

Funkcja wykonuje podany (ustawiony) transfer.
Funkcja wykonuje operacje na interfejsie po czym bezzwłocznie kończy działanie.
Jedynym parametrem jaki przyjmuje funkcja jest wskaźnik do transferu jaki ma zostać wykonany.
W wypadku kiedy wszystko się powiedzie funkcja zwraca wartość równą 0, w pozostałych przypadkach zwraca kod błędu tj. LIBUSB_ERROR_NO_DEVICE w wypadku kiedy urządzenie nie jest podłączone, LIBUSB_ERROR_BUSY w przypadku jeśli akcja została już wykonana, LIBUSB_ERROR_NOT_SUPPORTED jeśli flagi transferu (ustawienia) są nie wspierane przez system operacyjny oraz inne.

IV.2.13. libusb_free_transfer

Funkcja odpowiada za zwolnienie pamięci zajętą przez strukturę libusb_transfer
Funkcja ta powinna być zawołana dla wszystkich transferów zaalokowanych przez libus_alloc_transfer().
Jeśli dodatkowo flaga LIBUSB_TRANSFER_FREE_BUFFER jest ustawiona oraz bufor transferu jest nie zerowy, pamięć po nim zostanie również zwolniona za pomocą standardowej funkcji alokującej (np. free()).
Dozwolone jest zawołanie funkcji z parametrem równym NULL, w takim przypadku funkcja zakończy się bez błędu (ale nic nie zostanie zwolnione).
Nie dozwolone jest zwalnianie pamięci po nie zakończonym (aktywnym) jeszcze transferze, czyli takim który wystartował ale jeszcze nie wywołany został callback do niego (lub timeout).
Parametrem funkcji jest wskaźnik do transferu do zwolnienia.

V. Mikrokontroler

Rys. V.1. *Mikrokontroler LandTiger wraz z wyświetlaczem*

Mikrokontroler LandTiger oparty na LPC1768 został wyprodukowany przez firmę PowerMCU i można ją zakupić od wielu dostawców na eBay lub innych serwisach świadczących usługi zakupów przez internet. Średni koszt waha się w granicach $70 za płytkę wraz z wyświetlaczem LCD 3,2 cala o rozdzielczości 320x240 pikseli, z zasilaczem oraz zestawem kabli.
Funkcjonalności:

(a) 2 porty RS232, jeden z nich wspiera ISP (In-system Programming)

(b) 2 interfejsy magistrali CAN (Controller Area Network)

(c) interfejs RS485

(d) interfejs Ethernetowy RJ45-10/100M

(e) przetwornik cyfrowo-analogowy (DAC) wraz wmontowanym głośnikiem (wyjściem interfejsu) oraz sterownikiem dźwięku (LM386)

(f) przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC) wraz z wbudowanym potencjomentrem (wejściem interfejsu).

(g) Kolorowy 3,2 cala (lub 2,8 cala) dotykowy wyświetlacz LCD o rozdzielczości 320x240 pikseli.

(h) interfejs USB2.0 (USB Host oraz USB Device)

(i) interfejs kard SD/MMC

(j) interfejs I2C połączony z 2Kbit pamięcią EEPROM

(k) interfejs SPI połączony z 16Mbit pamięcią flash

(l) 2 user keys, 2 function keys

(m) 8 diód typu LED

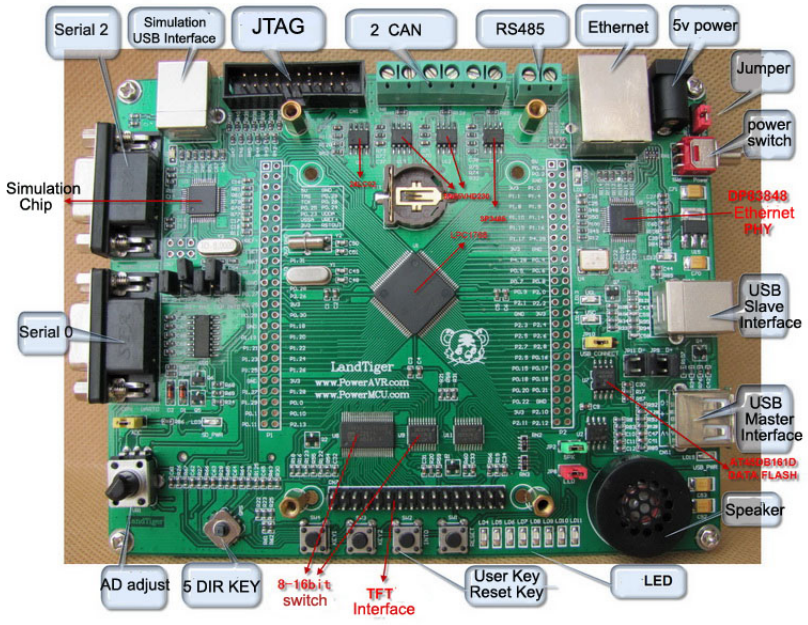
(n) pięciokierunkowy joystick

(o) wsparcie dla pobierania ISP

(p) pobieranie z użyciem JTAG, interfejs dla debugowania

(q) zintegrowany emulator kompilacji JLINK - wspiera możliwość debugownia online (po kablu USB podłączonym do PC) dla środowisk deweloperskich tj. KEIL, IAR, CooCox i innych

(r) dodatkowe 5V port zasilający (możliwe jest też za pomocą portu USB



Rys. V.2. *Mikrokontroler LandTiger wraz z opisem poszczególnych elemetnów*

LandTiger jest oparty na LPC1768. Wbudowany hardware wspiera ISP aby umożliwić załadowanie kodu (z użyciem bin2hex oraz flashmagic).
Alternatywą jest to, że kod może zostać załadowany za pomocą emulatora JLINK JTAG/SWD lub za pomocą zewnętrznego urządzenia JTAG.
Port COM1 (UART0) wspiera komunikacje z PC w obie strony. Wszelkie funkcje portu USB są wspierane z minimalnymi zmianami w oprogramowaniu. Podobnie jest z Ethernetem, z niewielkimi zmianami w oficjalnym kodzie dla LPC1768 kod jest w stanie się uruchomić na LandTigerze.
Wyświetlacz LCD jest oparty na kontrolerze SSD1289. Wyświetlacz może zostać odłączony od płyty. Używa 8-bitowej magistrali $P2_0..P2_7$. Kontroler ekranu dotykowego jest dostarczony razem z modułem wyświetlacza. Interfejs pomiędzy ekranem dotykowym a LPC1768 jest możliwy dzięki SPI.
Główne różnice pomiędzy LandTigerem a LPC1768:

(a) płyta po podłączeniu do PC nie pokazuje się jako zewnętrzne urządzenie magazynujące

(b) aby ściągnąć nowe pliki binarne należy użyć ISP lub JTAG

(c) brak wsparcia dla serialowego portu po linku USB, należy używać RS232 lub portu USB

(d) brak wsparcia dla logicznego systemu plików

(e) brak wsparcia dla 4 diód typu LED (istnieje możliwość użycia inncyh).

VI. implementacja

Implementacja opiera się na wykorzystaniu prostych podstawowych funkcji z biblioteki libUsb. Rozwiązania zostały obudowane w odpowiednie klasy wraz z zastosowaniem polimorfizmu aby uzyskać możliwość łatwego dodawania nowych udoskonaleń.

VI.1. Klasa Mode

Klasa Mode jest nadzbiorem funkcjonalności. Klasa ta obudowuje podstawowe funkcjonalności takie jak:

- inicjalizacja
  - pobieranie kontekstu
  - pobieranie uchwytu urządzenia
  - rejestracja interfejsu
- oczyszczanie pamięci

Klasa zawiera również czysto wirtualną metodę doTest(), której odpowiednie implementacje w klasach dziedziczących dostarcza funkcjonalności testom.

```
class Mode
{
public:
  Mode(int bufforSize, unsigned count, int vid, int pid, bool printOnlyResult) :
    _bufforSize(bufforSize), _count(count), _vid(vid), _pid(pid), _printOnlyResult(
    printOnlyResult)
  {
    _debugPrinter.set(!printOnlyResult);
  }
  virtual ~Mode();
  virtual int generateSymulatedData(unsigned char*, const int);
  virtual void printFinalInformation();
  virtual void initProcedures();
  virtual void getContext();
  virtual void getDeviceHandle();
  virtual void proceedWithInitUsb();
  virtual void closeLibUsb();
  virtual int doTest() = 0;

protected:
  int _bufforSize;
  unsigned _count;
  int _vid;
  int _pid;
```

```
  double _timeResult;
  DebugPrinter _debugPrinter;
  bool _printOnlyResult;
  libusb_context* _ctx;
  libusb_device_handle* _dev_handle;

};
```

Listing VI.1. *Deklaracja klasy Mode*

VI.1.1. Metoda getContext

W listingu VI.2 przedstawione zostało ciało metody getContext() klasy Mode.
Metoda nie przyjmuje żadnego argumentu, natomiast inicjalizuje kontekst i zapamiętuje go jako składnik w składowej klasy. W rozdziale IV wspomniane zostało iż możliwe jest używanie kontekstu domyślnego, wtedy zamiast użycia libusb_init() należałoby przypisać wskaźnikowi do kontekstu wartość równą NULL.
Aby używać domyślnego kontekstu należy mieć pewność iż aplikacja/wątek jest jedynym użytkownikiem libUSB.
W wypadku niepoprawnego działania wyrzucany jest błąd (ważne aby był przechwycony w funkcji main).

```
void Mode::getContext()
{
  int r = libusb_init(&_ctx);
  if(r < 0) {
    throw std::runtime_error("Init Context error");

  }
}
```

Listing VI.2. *Metoda Mode::getContext()*

VI.1.2. Metoda getDeviceHandler

Metoda nie przyjmuje żadnego argumentu. Ustawiany jest uchwyt do urządzenia na podstawie jego vendorId oraz productId (testy były wykonane na mikrokontrolerze LandTige). W wypadku niepowodzenia zostanie zgłoszony odpowiedni błąd (np. braku podłączonego i uruchomionego mikrokontrolera). Ciało funkcji zostało przedstawione w Listingu VI.3

```
void Mode::getDeviceHandle()
{
  _dev_handle = libusb_open_device_with_vid_pid(_ctx, _vid, _pid);
```

```
  if(_dev_handle == NULL)
    throw std::runtime_error("Cannot open device!");
  else
    _debugPrinter << "Device Opened\n";
}
```

Listing VI.3. *Metoda Mode::getDeviceHandler()*

VI.1.3. Metoda proceedWithInitLibUsb

Metoda odpowiedzialna za dokończenie procedur inicjalizacyjnych. Ciało metody zostało przedstawione w Listingu VI.4. Metoda sprawdza dodatkowo czy sterownik jądra kernela jest aktywny, dla platformy Windows funkcja zwróci wartość LIBUSB_ERROR_NOT_SUPPORTED (!= 1) i zachowa się analogicznie jak w wypadku nie aktywnego sterownika w systemie UNIX (warunek bedzie nie spełniony).
Kolejnym krokiem jest rezerwacja przez program konkretnego interfejsu za pomocą funkcji libusb_claim_interface.
W wypadku niepoprawnego działania metoda wyrzuci runtime_error który należy obsłużyć w funkcji main().

```
void Mode::proceedWithInitUsb()
{
  if(libusb_kernel_driver_active(_dev_handle, 0) == 1) { //find out if kernel driver
    is attached
    _debugPrinter << "Kernel Driver Active\n";
    if(libusb_detach_kernel_driver(_dev_handle, 0) == 0) //detach it
      _debugPrinter << "Kernel Driver Detached!\n";
  }
  int status = libusb_claim_interface(_dev_handle, 1);
  if(status < 0)
  {
    throw std::runtime_error("Cannot Claim Interface");
  }
  _debugPrinter << "Claimed Interface\n";
}
```

Listing VI.4. *Metoda Mode::proceedWithInitLibUsb()*

VI.1.4. Metoda initProcedures()

Metoda przedstawiona w listingu VI.5 odpowiada za wywołanie procedur inicjalizacji w odpowiedniej kolejności.

```
void Mode::initProcedures()
{
  getContext();
  getDeviceHandle();
  proceedWithInitUsb();
}
```

Listing VI.5. *Metoda Mode::initProcedures()*

VI.1.5. Metoda closeLibUsb

Metoda przedstawiona w Listingu VI.6 odpowiada za zwolnienie interfesju oraz zasobów uprzednio zajętych na czas testu.

```
void Mode::closeLibUsb()
{
  int status = libusb_release_interface(_dev_handle, 1);
  if(status != 0) {
    throw std::runtime_error("Cannot Relase Interface");
  }
  _debugPrinter << "Released Interface\n";
  libusb_close(_dev_handle);
  libusb_exit(_ctx);
}
```

Listing VI.6. *Metoda Mode::closeLibUsb()*

VI.1.6. Metoda printFinalInformation

Metoda mająca na zadanie wypisanie ostatecznych wyników. Wyniki mogą zostać przedstawione jako czytelna zwykła informacja dla użytkownika lub w postaci kolumnowej (używanej przy tworzeniu wykresów).

```
void Mode::printFinalInformation()
{
  _debugPrinter << "Sending of: " << _bufforSize * _count << "Bytes using bufferSize="
    << _bufforSize << " takes " << _timeResult << "s.\n";
  if(_printOnlyResult)
  {
    unsigned allSendReceivedData = _bufforSize * _count;
    double sendingTime = _timeResult/2;
    double receivingTime = _timeResult/2;
```

```
    printf("%d\t%u\t%u\t%.2f\t%.2f\t%.2f\t%.2f\t%.2f\t%.2f\n", _bufforSize, _count,
    allSendReceivedData, _timeResult, sendingTime, receivingTime,
                allSendReceivedData/_timeResult, allSendReceivedData/sendingTime,
    allSendReceivedData/receivingTime);
  }
}
```

Listing VI.7. *Metoda Mode::printFinalInformation()*

VI.2. Klasa SynchMode

Klasa SynchMode odpowiada odpowiednią konfigurację USB dla przesyłu synchronicznego.

```
class SynchMode : public Mode
{
public:
  SynchMode(int bufforSize, unsigned count, int vid, int pid, bool printOnlyResult);
  virtual ~SynchMode();
  virtual int doTest() override;

private:

};
```

Listing VI.8. *Deklaracja klasy SynchMode*

Klasa używa wszystkich domyślnych ustawień (nie przeciąża żadnej metody wirtualnej), oczywiście metoda doTest() wymaga implementacji.

VI.2.1. Metoda doTest

Metoda w całości przedstawiona w listingu VI.9 i jest odpowiedzialna za wykonanie podstawowego pomiaru czasu przepływu danych w obie strony pomiędzy PC a mikrokontrolerem. Została zaprojektowana w taki sposób aby konkretny bufor danych został wysłany oraz odebrany określoną ilość razy i zwrócony przedział czasowy w jakim udało się to uzyskać. Powodem wysyłania/odbierania danych określoną ilość razy jest fakt dość sporych ograniczeń jeśli chodzi o chip wbudowany w płytę LandTiger.

```
int SynchMode::doTest()
{
  unsigned char *data_out = new unsigned char[_bufforSize]; //data to write
  unsigned char* data_in = new unsigned char[_bufforSize];
  generateSymulatedData(data_out, _bufforSize);
  int howManyBytesIsSend;
```

```
  int howManyBytesReceived;

  time_t start_t, end_t;
      _timeResult = 0;


  time(&start_t);
  for(int i = 0; i < _count; ++i)
  {
    int sendStatus = libusb_bulk_transfer(_dev_handle, (2 | LIBUSB_ENDPOINT_OUT),
    data_out, _bufforSize, &howManyBytesIsSend, 0);
    if(sendStatus == 0 && howManyBytesIsSend == _bufforSize)
    {
      //here was printing data for debugging only
    }
    else
    {
      delete [] data_out;
      throw std::runtime_error("Write Error!");
    }


    int readStatus = libusb_bulk_transfer(_dev_handle, (2 | LIBUSB_ENDPOINT_IN),
    data_in, _bufforSize * sizeof(unsigned char), &howManyBytesReceived, 0);
    if (readStatus == 0 && howManyBytesReceived == howManyBytesIsSend)
    {
      //here was printing data for debugging only
    }
    else
    {
      delete[] data_in;
      throw std::runtime_error("Read Error! ");
    }

  }
  time(&end_t);
  _timeResult = difftime(end_t, start_t);
  delete[] data_in;
  delete [] data_out;
  return 0;
}
```

Listing VI.9. *Metoda SynchMode::doTest()*

VI.3. Klasa AsynchMode

Klasa AsynchMode odpowiada odpowiednią konfigurację USB dla przesyłu asynchronicznego.

```
class AsynchMode : public Mode
{
public:
  AsynchMode(int bufforSize, unsigned count, int vid, int pid, bool printOnlyResult);
  virtual ~AsynchMode();
  virtual int doTest() override;
  virtual void initProcedures() override;
  void closeLibUsb() override;
private:
  pthread_mutex_t _sender_lock;
  pthread_mutex_t _receiver_lock;
  pthread_cond_t _sender_cond;
  pthread_cond_t _receiver_cond;

  libusb_transfer* _senderTransfer;
  libusb_transfer* _receiverTransfer;
  pthread_t _receiverThread;

};
```

Listing VI.10. *Deklaracja klasy SynchMode*

Klasa zawiera wzbogaconą inicjalizację o alokacje transferów (wysyłającego oraz odbierającego) oraz inicjalizację mutexów.
Dosyć istotnym elementem jest przedstawiony w listingu VI.11 dodatkowy namespace ułatwiający obsługę callbacków. Znajduje się w nim zarówno obsługa wątku nasłuchującego jak i obsługa poszczególnych zdarzeń.

```
namespace ThreadHelper
{
  struct TransferStatus
  {
    time_t startTest;
    time_t stopTest;
    int allCompleted;
    libusb_transfer* senderHandler;
    libusb_transfer* receiverHandler;
    int sendCount;
    int receivedCount;
    int needToBeSendReceived;
    libusb_context* ctx;
```

```
  int waitForSender;
  int waitForReceiver;
  int particularSendComplete;
  int particularReceiveComplete;
  pthread_mutex_t* sender_lock;
  pthread_mutex_t* receiver_lock;
  pthread_cond_t* sender_cond;
  pthread_cond_t* receiver_cond;
};

static void LIBUSB_CALL cb_read(struct libusb_transfer *transfer)
{
  if (transfer->status != LIBUSB_TRANSFER_COMPLETED) {
    std::cerr << "Reading data error!" << std::endl;
    return ;
  }
  TransferStatus* ts = static_cast<TransferStatus*>(transfer->user_data);
  ts->receivedCount++;
  ts->particularReceiveComplete = 1;

  pthread_mutex_lock(ts->sender_lock);
  ts->waitForSender = 0;
  pthread_cond_signal(ts->sender_cond);
  pthread_mutex_unlock(ts->sender_lock);
  if(ts->receivedCount == ts->needToBeSendReceived)
  {
    time(&ts->stopTest);
    ts->allCompleted = 1;
  }

}

static void LIBUSB_CALL cb_send(struct libusb_transfer *transfer)
{
  if (transfer->status != LIBUSB_TRANSFER_COMPLETED) {
    std::cerr << "Sending data error!" << std::endl;
    return ;
  }
  TransferStatus* ts = static_cast<TransferStatus*>(transfer->user_data);
  ts->sendCount++;
  pthread_mutex_lock(ts->receiver_lock);
  ts->waitForReceiver = 0;
  ts->particularSendComplete = 1;
  pthread_cond_signal(ts->receiver_cond);
  pthread_mutex_unlock(ts->receiver_lock);
```

```
  }

  void* receiverThread(void* arg)
  {
    TransferStatus* transferStatus = static_cast<TransferStatus*>(arg);
    while(transferStatus->allCompleted != 1)
    {
      pthread_mutex_lock(transferStatus->receiver_lock);
      while(transferStatus->waitForReceiver) {
        pthread_cond_wait(transferStatus->receiver_cond, transferStatus->receiver_lock
    );
      }
      transferStatus->waitForReceiver = 1;

      pthread_mutex_unlock(transferStatus->receiver_lock);
      transferStatus->particularReceiveComplete = 0;
      libusb_submit_transfer(transferStatus->receiverHandler);
      while(transferStatus->particularReceiveComplete == 0)
        libusb_handle_events(transferStatus->ctx);
    }
  }

}
```

Listing VI.11. *Deklaracja klasy SynchMode*

VI.3.1. Metoda initProcedures oraz closeLibUsb

W wypadku Asynchronicznego przesyłania danych należy wykonać kilka dodatkowych operacji inicjalizacyjnych. Są to alokacje transferów oraz inicjalizacja mutexów. Całość widoczna w listingu **??**.

```
void AsynchMode::initProcedures()
{
  Mode::initProcedures();
  _senderTransfer = libusb_alloc_transfer(0);
  _receiverTransfer = libusb_alloc_transfer(0);
  if(_senderTransfer == NULL || _receiverTransfer == NULL)
  {
    throw std::runtime_error("Transfer allocation Error");
  }

  if(pthread_mutex_init(&_sender_lock, NULL) != 0 || pthread_mutex_init(&
    _receiver_lock, NULL) != 0)
```

```
  {
    throw std::runtime_error("Mutex Init Failed!");
  }

}
```

Listing VI.12. *Metoda AsynchMode::initProcedures*

Analogicznie sytuacja przedstawia się sytuacja w wypadku zwalniania zasobów. Dodatkową czynnością jest usunięcie mutexów oraz zwolnienie transferów. Całość dostępna w listingu VI.13.

```
void AsynchMode::closeLibUsb()
{
  pthread_mutex_destroy(&_sender_lock);
  pthread_mutex_destroy(&_receiver_lock);
  libusb_free_transfer(_senderTransfer);
  libusb_free_transfer(_receiverTransfer);
  Mode::closeLibUsb();
}
```

Listing VI.13. *Metoda AsynchMode::closeLibUsb*

VI.3.2. Metoda doTest

Podobnie jak w wypadku Synchronicznego mechanizmu tak i teraz należy dostarczyć implementacje metody doTest(). Jej działanie jest znacznie odmienne, polega na wystartowaniu drugiego wątku nasłuchującego odpowiedzi. Całość synchronizowana jest za pomocą mutexów (listing VI.14 oraz VI.11).

```
int AsynchMode::doTest()
{
  unsigned char *data_out = new unsigned char[_bufforSize]; //data to write
  unsigned char *data_in = new unsigned char[_bufforSize]; //data to read
  generateSymulatedData(data_out, _bufforSize);
  int howManyBytesIsSend;
  int howManyBytesReceived;
  ThreadHelper::TransferStatus transferStatus;
  transferStatus.allCompleted = 0;

  transferStatus.sendCount = 0;
  transferStatus.receivedCount = 0;
  transferStatus.senderHandler = _senderTransfer;
  transferStatus.receiverHandler = _receiverTransfer;
  transferStatus.needToBeSendReceived = _count;
```

```
  transferStatus.ctx = _ctx;
  transferStatus.waitForSender = 0;
  transferStatus.waitForReceiver = 1;
  transferStatus.sender_lock = &_sender_lock;
  transferStatus.sender_cond = &_sender_cond;
  transferStatus.receiver_lock = &_receiver_lock;
  transferStatus.receiver_cond = &_receiver_cond;

  libusb_fill_bulk_transfer(_senderTransfer, _dev_handle, (2 | LIBUSB_ENDPOINT_OUT),
    data_out, _bufforSize, ThreadHelper::cb_send, &transferStatus, 0);
  libusb_fill_bulk_transfer(_receiverTransfer, _dev_handle, (2 | LIBUSB_ENDPOINT_IN),
    data_in, _bufforSize, ThreadHelper::cb_read, &transferStatus, 0);

  _timeResult = 0.0;
  if(pthread_create(&_receiverThread, NULL, ThreadHelper::receiverThread, &
    transferStatus) != 0)
  {
    throw std::runtime_error("Error creating listener thread.");
  }

  time(&transferStatus.startTest);
  for(int i = 0; i < _count; ++i)
  {
    pthread_mutex_lock(&_sender_lock);
    while(transferStatus.waitForSender){
      pthread_cond_wait(&_sender_cond, &_sender_lock);
    }
    transferStatus.waitForSender = 1;

    pthread_mutex_unlock(&_sender_lock);
    transferStatus.particularSendComplete = 0;
    libusb_submit_transfer(_senderTransfer);
    while(transferStatus.particularSendComplete == 0)
      libusb_handle_events(_ctx);

  }
  pthread_join(_receiverThread, NULL);
  _timeResult = difftime(transferStatus.stopTest, transferStatus.startTest);
  delete data_out;
  delete data_in;
  return 0;
}
```

Listing VI.14. *Metoda AsynchMode::doTest()*

VI.4. Korzystanie z poszczególnych interfejsów

Kod przedstawiony w Listingu VI.16 doskonale ukazuje prostotę korzystania z libUSB. Użytkownik zobligowany jest do wprowadzenia wielkości bufora danych oraz ilości powtórzeń określających ile razy dany bufor zostanie wysłany do mikrokontrolera. Następnie zostaje wykonana inicjalizacja z użyciem wyżej wymienionych interfejsów (synchronicznego lub asynchronicznego na podstawie parametru).

```
int main(int argc, char* argv[])
{

  if(argc < 4)
  {
    std::cout << "use: " << argv[0] << " [S/A] <bufforSize> <fullDataSize> optional:<
    printOnlyResult>" << std::endl;
    std::cout << "First parameter tells if application should be run in Synchronous
    mode or Asynchronous" << std::endl;
    std::cout << "Note that max buffer of LandTiger is " << BUFFOR_MAX << "Bytes" <<
    std::endl;
    return 0;
  }
  bool printOnlyResult = false;
  if(argc == 5)
    printOnlyResult = argv[4][0] == '0' ? false : true;

  DebugPrinter debugPrinter(! printOnlyResult);
  char selectedMode = std::toupper(argv[1][0]);
  if(selectedMode != 'A' && selectedMode != 'S')
  {
    debugPrinter << "mode set is different than A or S, setting synchronous as default
    .\n";
    selectedMode = 'S';
  }

  unsigned bufforSize = atoi(argv[2]);
  if(bufforSize > BUFFOR_MAX)
  {
    debugPrinter << "bufforSize is grather than 64B, setting 64 as default\n";
    bufforSize = BUFFOR_MAX;
  }
  unsigned fullDataSize = atoi(argv[3]);
  unsigned count = fullDataSize/bufforSize;
  if(fullDataSize % bufforSize != 0)
  {
    debugPrinter << "It is impossible to send " << fullDataSize << "B using " <<
```

```
    bufforSize << "B, to simplify application work sending " << (++count) * bufforSize
     << "B\n";
  }


  debugPrinter << "Total size to send/receive: " << bufforSize << " x " << count << "
    = " << bufforSize * count << " Bytes\n";
  try
  {
    std::unique_ptr<Mode> mode;

    if(selectedMode == 'A')
      mode.reset(new AsynchMode(bufforSize, count, LAND_TIGER_VID, LAND_TIGER_PID,
    printOnlyResult));
    else
      mode.reset(new SynchMode(bufforSize, count, LAND_TIGER_VID, LAND_TIGER_PID,
    printOnlyResult));
    mode->initProcedures();
    mode->doTest();
    mode->printFinalInformation();
    mode->closeLibUsb();
  } catch (std::runtime_error& e)
  {
    std::cout << e.what() << std::endl;
  }

  return 0;
}
```

Listing VI.15. *Przykład użycia interfejsu synchronicznego lub asynchronicznego w zależności od parametryzacji*

VI.4.1. Parametryzacja

```
use: libusb [S/A] <bufforSize> <fullDataSize> optional:<printOnlyResult>
```

Listing VI.16. *uruchomienie testu*

- S/A - należy wybrać czy chcemy wykonać test w trybie Synchronicznym czy Asynchronicznym
- bufforSize - rozmiar bufforu danych jaki chcemy przeznaczyć dla jednej paczki danych [B]
- fullDataSize - całkowity rozmiar danych do wysłania [B]

- printOnlyResult - opcjonalny parametr w wypadku ustawienia na wartość '1' pozwala na łatwe zebranie wyników bez zbędnych informacyjnych wiadomości (same dane).

VI.5. implementacja pomocnicza

```
class DebugPrinter
{
public:
  DebugPrinter() : _enabled(true)
  {
  }
  DebugPrinter(bool enabled) : _enabled(enabled)
  {
  }

  DebugPrinter& operator<<(const char ss[])
  {
    if(_enabled)
      std::cout << ss;
    return *this;
  }
  DebugPrinter& operator<<(const int& d)
  {
    if(_enabled)
      std::cout << d;
    return *this;
  }
  void set(bool enabled)
  {
    _enabled = enabled;
  }

private:
  bool _enabled;
};
```

Listing VI.17. *Klasa DebugPrinter*

```
libusb: Mode.o SynchMode.o AsynchMode.o Mode.hpp Mode.cpp SynchMode.hpp SynchMode.cpp
    AsynchMode.hpp
  g++ -std=c++11 libusbtest2.cpp SynchMode.cpp AsynchMode.cpp Mode.cpp -o libusb -I/
    usr/include/libusb-1.0 -lusb-1.0 -lpthread

AsynchMode.o: Mode.o Mode.hpp Mode.cpp AsynchMode.hpp AsynchMode.cpp
```

```
  g++ -std=c++11 -c AsynchMode.cpp -o AsynchMode.o -I/usr/include/libusb-1.0 -lusb-1.0
     -lpthread

SynchMode.o: Mode.o Mode.hpp Mode.cpp SynchMode.hpp SynchMode.cpp
  g++ -std=c++11 -c SynchMode.cpp -o SynchMode.o -I/usr/include/libusb-1.0 -lusb-1.0 -
    lpthread

Mode.o: Mode.hpp Mode.cpp
  g++ -std=c++11 -c Mode.cpp -o Mode.o -I/usr/include/libusb-1.0 -lusb-1.0 -lpthread

clean:
  @rm -f *.o libusb
```

Listing VI.18. *Makefile*

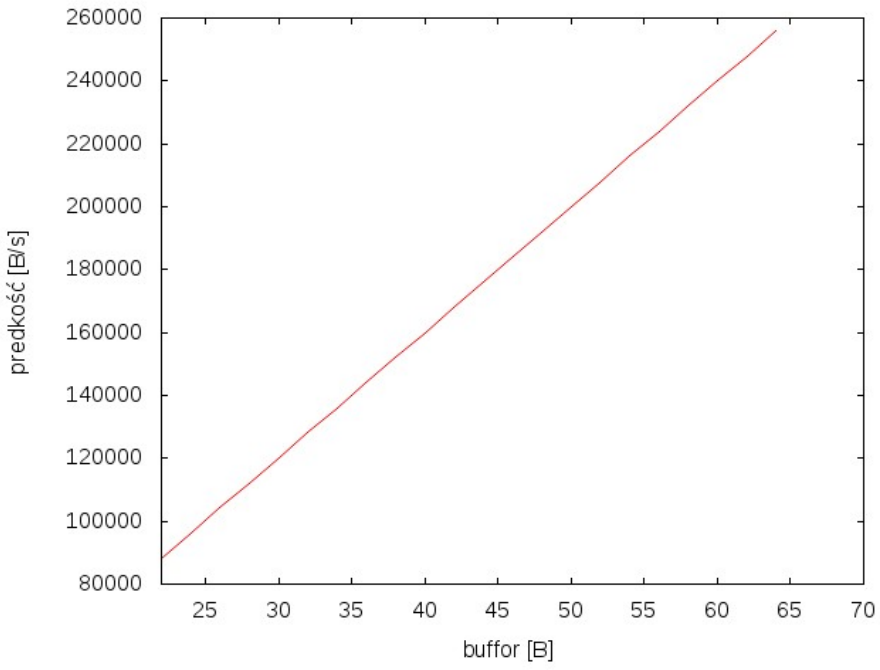
VII. Wyniki symulacji

Testy zostały przeprowadzone z użyciem prostej aplikacji w dwóch trybach: synchronicznym i asynchronicznym. Przedstawione poniżej wyniki wraz z krótką interpretacją przekazują zarys doświadczenia. Celem pracy było uzyskanie prędkości nie mniejszej niż 140 MBit/s co jest równe 17,5 MB/s.

Niestety okazało się iż mikrokontroler LandTiger pomimo wlutowanego gniazda USB2.0 nie jest w stanie obsłużyć tego standardu. Powodem tego jest to iż chip na płytce jest w stanie obsłużyć tylko standard USB1.1.

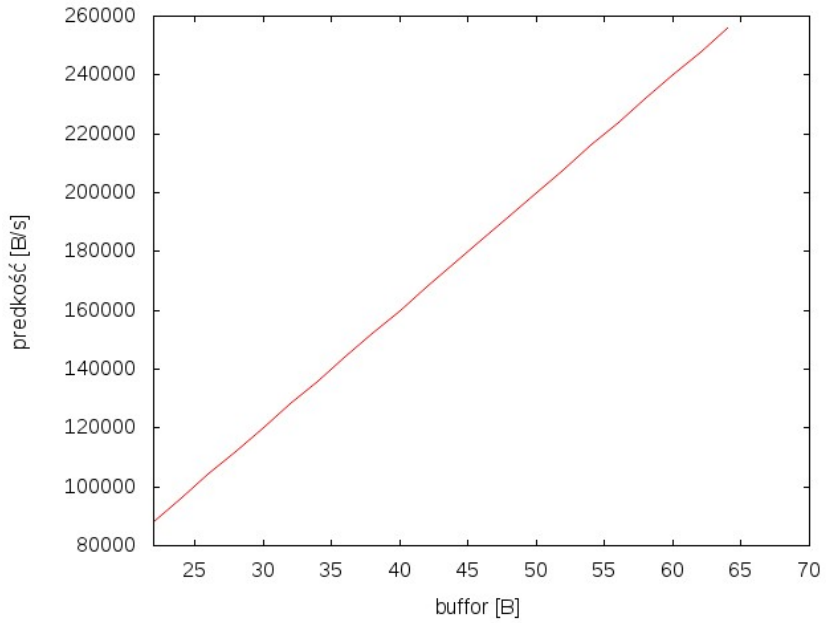
Powodem dla którego mikrokontroler działa pomimo obsługi USB1.1 (a nie jak wspomniano USB2.0) jest to że wlutowane gniazdo ustandaryzowane jako USB2.0 jest wstecznie kompatybilne (więcej informacji w rozdziale II).

Zebrane wyniki możemy skategoryzować według: ilości przesłanych danych, szybkości przesyłu danych z komputera osobistego do kontrolera, szybkości przesyłu danych z kontrolera do komputera osobistego, szybkości przesyłu w obie strony. Kluczowym elementem jest tutaj wielkość buffora, czyli ilości danych możliwych do wysłania/odebrania w jednym tiku zegara. Niestety w wypadku USB1.1 jest to 64B (z powodu ograniczeń na chipie płytki). Większość wyników została wygenerowana za pomocą programu który nie pozwalał na przekroczenie dopuszczalnego przez LandTiger'a bufforu (tak jak w przypadku Rys. VII.1 oraz innych)



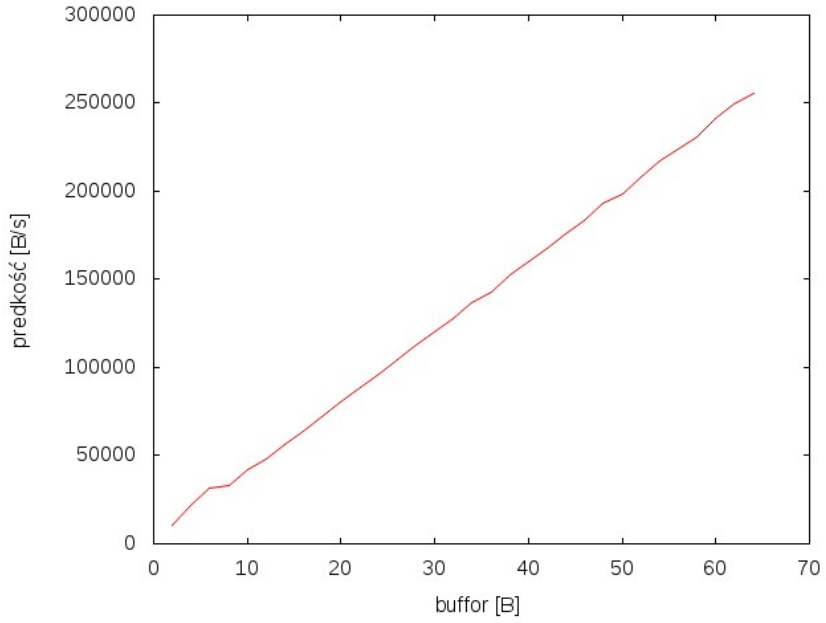
Rys. VII.1. *Wykres ilustrujący prędkość wysyłania danych w zależności od buffora dla 102 MB (tryb synchroniczny)*

Na Rys. VII.1 widoczny jest wyraźny wzrost szybkości wysyłania danych wraz ze zwiększeniem bufora. Jest to doświadczenie wykonane na stosunkowo małym buforze spowodowane ograniczeniami płytki LandTiger. Wykres jest liniowy



Rys. VII.2. *Wykres ilustrujący prędkość odbierania danych w zależności od buffora dla 102 MB (tryb synchroniczny)*

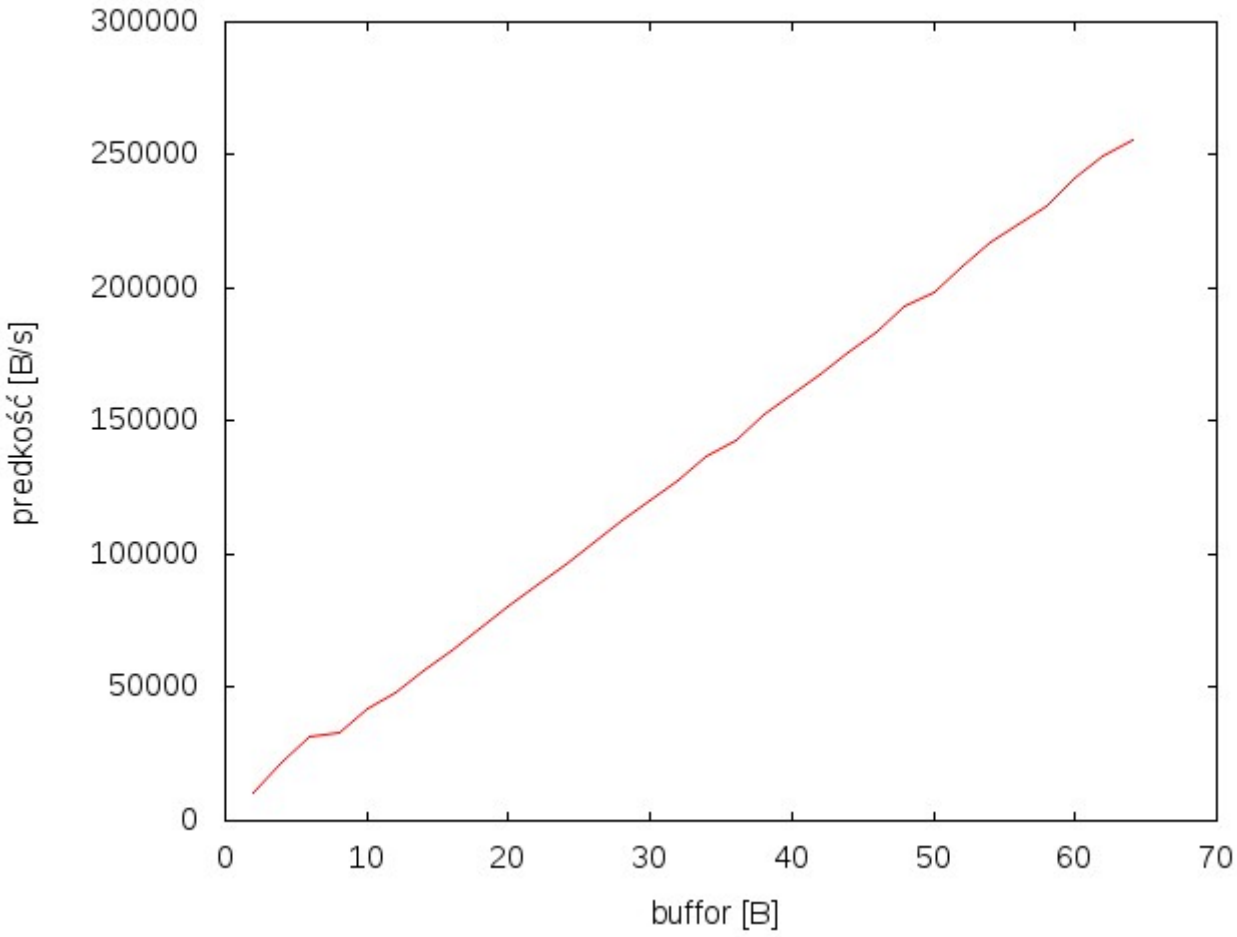
Analogiczny wykres widoczny jest dla prędkości odbierania danych (Rys. VII.2), różnice są niezauważalne przy tak małej ilości danych.



Rys. VII.3. *Wykres ilustrujący prędkość wysłania danych w zależności od buffora dla 10 MB (tryb synchroniczny)*

W wypadku wysyłania nieco mniejszej próbki danych prędkość obrazuje się jako nieco

mniej stabilna. Całość widoczna jest na Rys. VII.3. Wykres nie jest już liniowy a prędkość zdaje się być na bardziej niedeterministyczna.

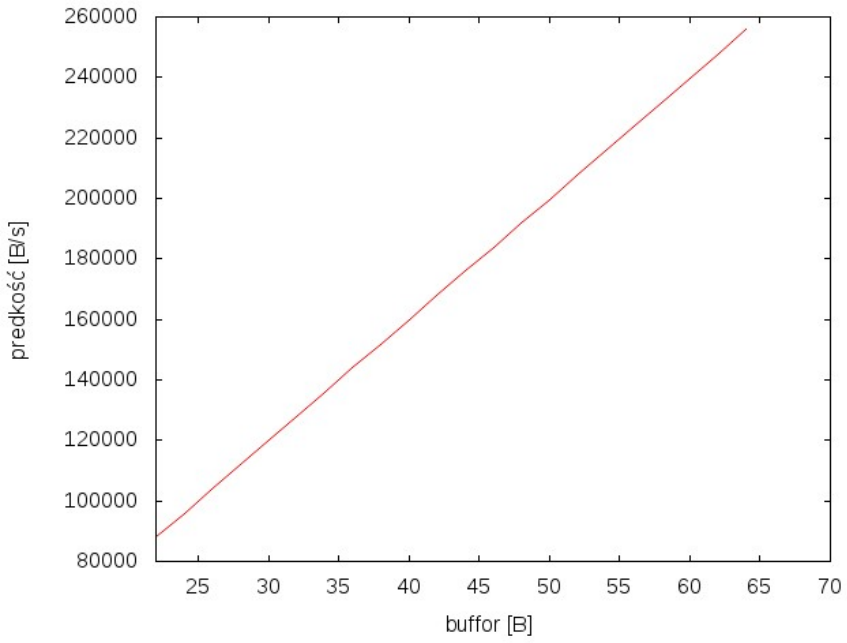


Rys. VII.4. *Wykres ilustrujący prędkość odbierania danych w zależności od buffora dla 10 MB (tryb synchroniczny)*

Podobnie jak w poprzednim przypadku (dla większej ilości danych), wykres prędkości odbierania danych pokrywa się z wykresem prędkości wysyłania danych (Rys. VII.4).

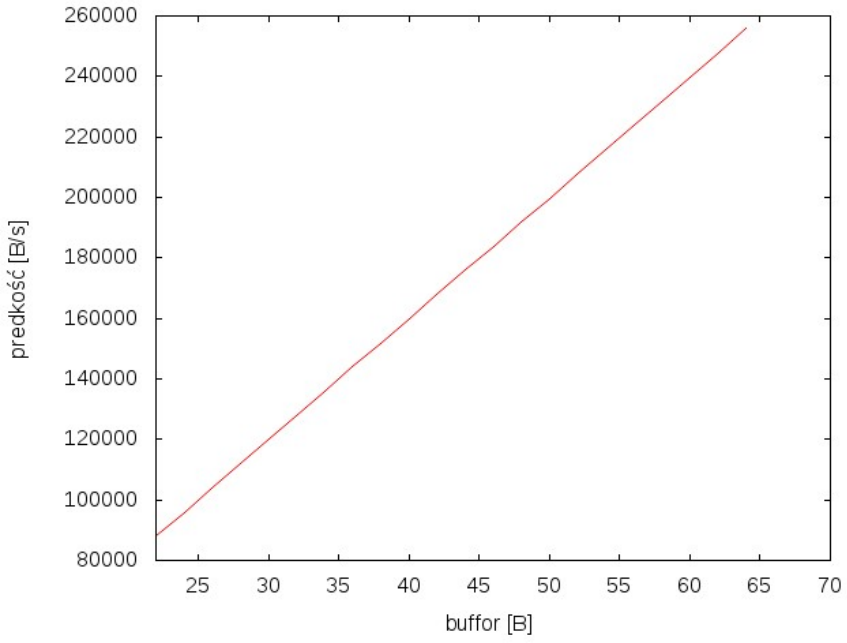
Podsumowując synchroniczne wysyłanie danych nie należy do najbardziej efektywnych metod. Każda operacja zwraca status i ten status musi być weryfikowany aby zlokalizować ewentualny błąd.

Zupełnie innym podejściem charakteryzuje się metoda Asynchroniczna w której korzysta się z nie blokujących metod. Tutaj inną przeszkodą jest to aby to programista zadbał o synchronizacje (ponieważ po łączu w jednym czasie mogą przebiegać dane tylko w jedną stronę). Dzięki tej metodzie istnieje możliwość uzyskania lepszych (szybszych) wyników.



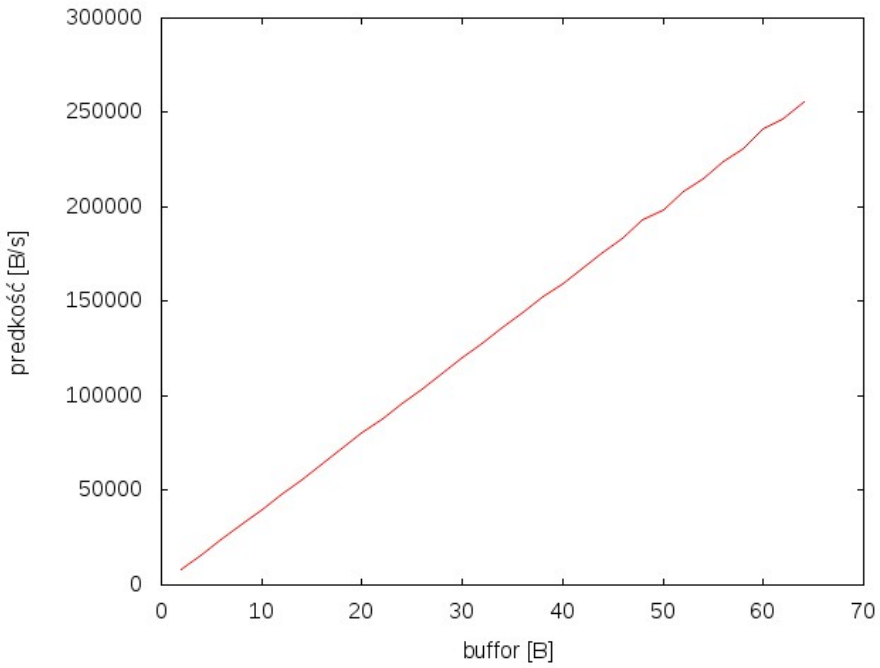
Rys. VII.5. *Wykres ilustrujący prędkość wysyłania danych w zależności od buffora dla 102 MB (tryb Asynchroniczny)*

Jak widac na Rys. VII.5 zależność liniowa również występuje dla tej ilości danych orzy przesyle asynchronicznym, podobnie jak w przypadku przesyłu synchronicznego (Rys. VII.1).



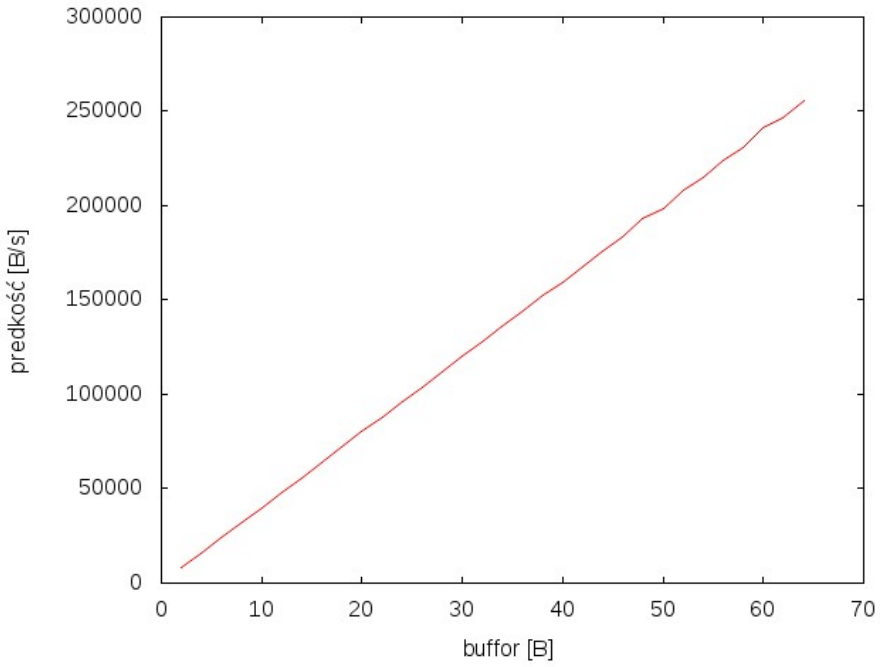
Rys. VII.6. *Wykres ilustrujący prędkość odbierania danych w zależności od buffora dla 102 MB (tryb Asynchroniczny*

Analogiczna sytuacja występuje w wypadku odbierania danych (o wielkości 102 MB) metodą asynchroniczną. Wykres jest liniowy jak jego odpowiednik z metody synchronicznej (Rys. VII.2) a wyniki są bardzo zbliżone do siebie.



Rys. VII.7. *Wykres ilustrujący prędkość wysyłania danych w zależności od buffora dla 10 MB (tryb asynchroniczny)*

Jeśli przeprowadzimy testy dla mniejszej ilości danych to zauważalny jest brak liniowości takiego wykresu (zarówno dla Rys. VII.7 jak i Rys. VII.8).

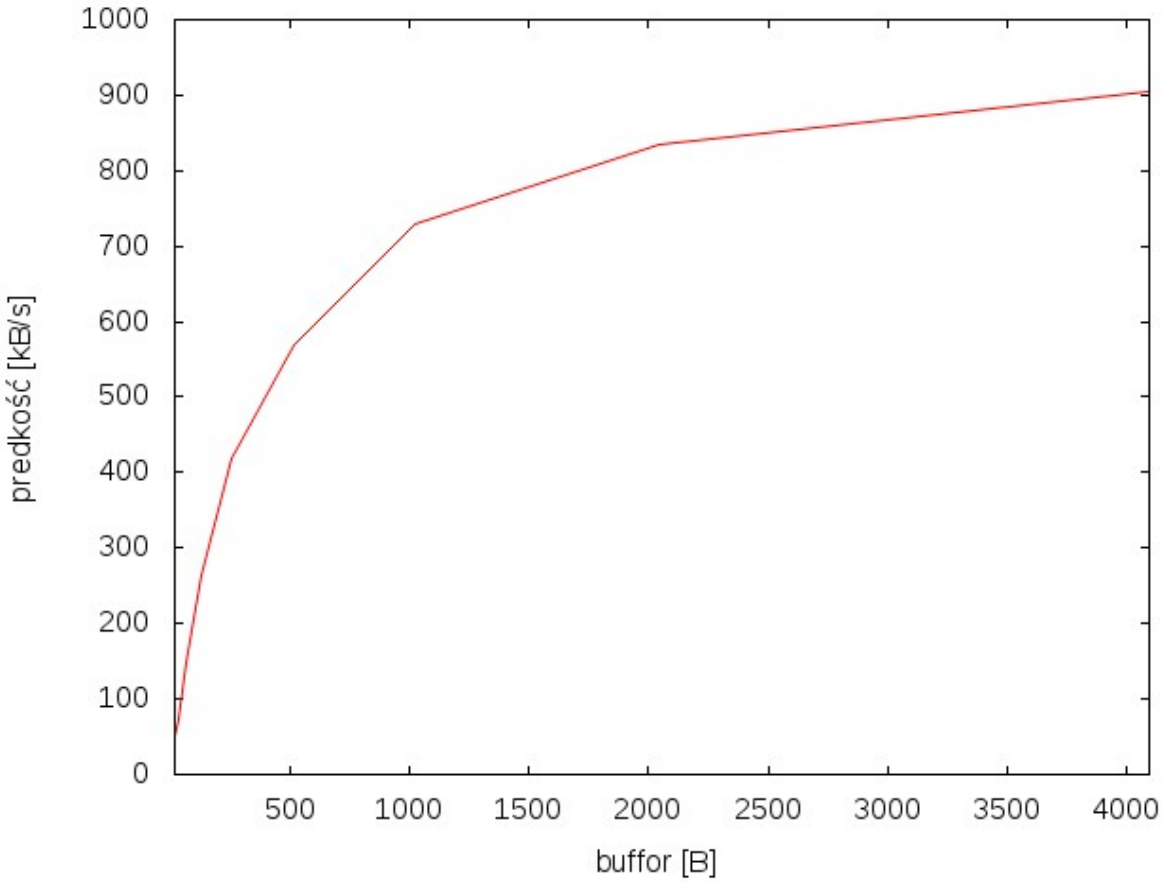


Rys. VII.8. *Wykres ilustrujący prędkość odbierania danych w zależności od buffora dla 10 MB (tryb asynchroniczny)*

Podsumowując użycie bufora dopuszczalnego przez mikrokontroler LandTiger (czyli bufora nie większego niż 64B) nie jest nawet zbliżona do prędkości porządanej (140 MB/s)

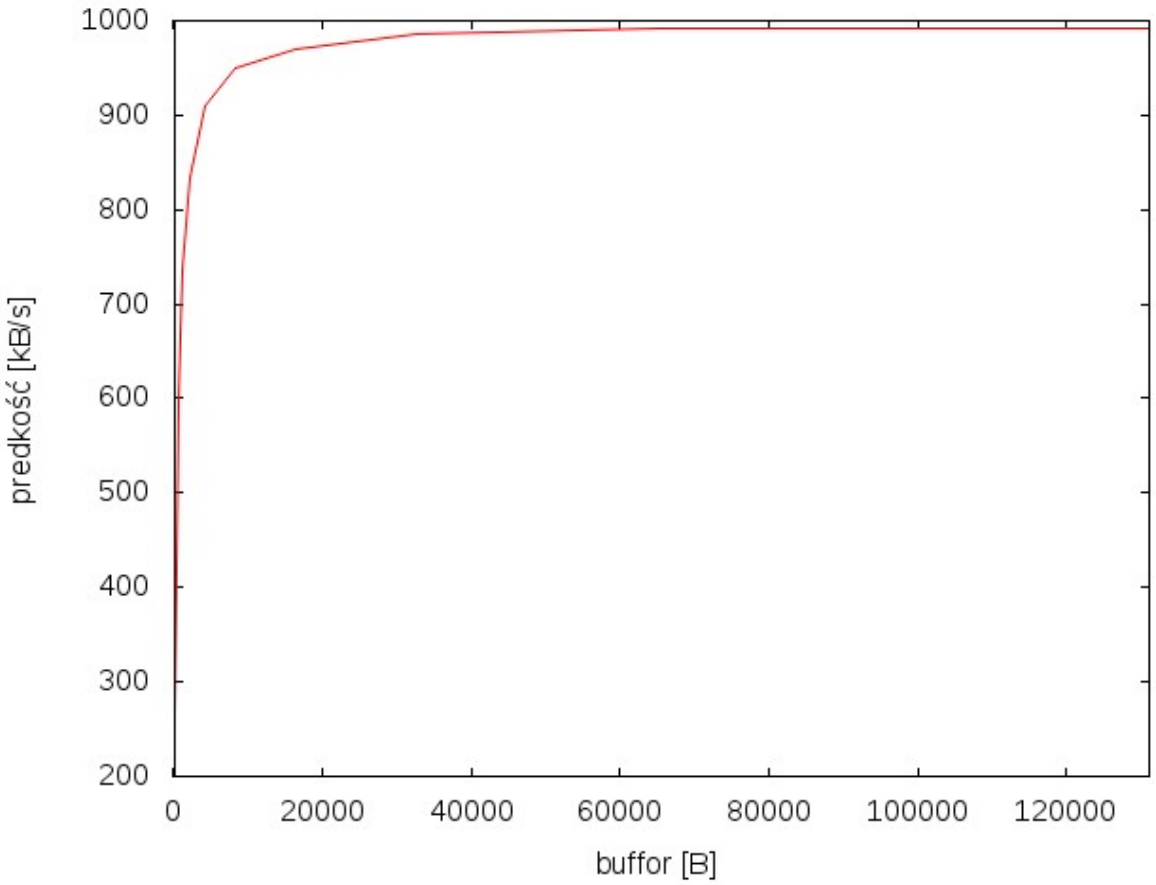
bez względu czy korzystaliśmy z synchronicznej metody czy asynchronicznej. Przyczyną jest tutaj wielkość używanego bufora, z powodów dla których LandTiger nie dopuszcza użycia wiekszego bufora niż 64B pozostałem testy oparte są na zasymulowanych danych.

Dodatkowo została przeprowadzona symulacja z uwzględnieniem większego bufora danych ale została wykonana bez poprawnego odbioru danych po stronie kontrolera. Oznacza to że te dane mogą zostać potraktowane jedynie jako przypuszczenia jak wyglądałby wykres gdyby dane były przetworzone prawidłowo. Poniższe (Rys. VII.9 oraz Rys. VII.10 wykresy przedstawiają wygenerowane wyniki.



Rys. VII.9. *Wykres ilustrujący zmianę prędkości przesyłania danych z użyciem bufora z przedziału 16 B - 4 kB*

Powyższy wykres obrazuje zmianę prędkości wysyłania przy założeniu poprawnego odbioru danych po stronie kontrolera. Zależność liniowa całkowicie zaniknęła. Wartości rozmiaru bufora danych jest podwajana z każdym zgięciem krzywej (początkowa wartość 16 B, końcowa 4096 B = 4 kB), a więc rozbieżność przesyłu danych jest duża. Warto zauważyć iż pomimo dość dużego bufora danych prędkość nie przekroczyła 1 MB/s (max wartość 905,702 kB/s).



Rys. VII.10. *todo:S_bbuf2*

Powyższy wykres jest rozwinięciem poprzednika. Obrazuje zmianę prędkości na podstawie zasymulowanych danych oraz przy założeniach poprawnego odebrania danych przez mikrokontroler. Podstawową różnicą jest wielkość użytego bufora w tym przypadku. Dla tego przypadku został użyty bufor o wartości minimalnej równe 128 B oraz maksymalnej równej 131072 B (128 kB). Bufor w każdym kroku jest podwajany. Początkowo wartość uzyskiwanej prędkości wzrasta gwałtownie w każdym kroku, natomiast powyżej wartości 8 kB nie są już tak gwałtowne a wręcz krzywa przechodzi w coraz bardziej poziomą i dąży do wartości 1 MB/s.

Pomimo zasymulowania dość sporych danych wraz z użyciem dość dużego bufora danych nie udało się uzyskać oczekiwanej minimalnej prędkości. Jednym z powodów jest to, że obsługa odbioru danych została zasymulowana po stronie mikrokontrolera dla bufora danych większego niż 64 B (ograniczenia kontrolera).

VIII. Podsumowanie

Celem projektu było uzyskanie jak największej prędkości przesyłu danych po interfejsie USB. Na wstępie zamieszczone zostało krótkie wprowadzenie odnośnie dostępnych standardów USB oraz ich zarysowi historycznemu. Kolejnym krokiem był dwóch najbardziej popularnych bibliotek do obsługi interfejsu USB (libUSB oraz winUSB). W rozdziale został zawarty krótki opis najważniejszych aspektów bibliotek wraz z uzasadnieniem wyboru libUSB jako tej używanej w projekcie.

Dosyć ważną część odgrywa opis API biblioteki libUsb. Znajduje się w nim dość obszerny opis poszczególnych funkcji użytych w projekcie. Jest to kluczowe aby zrozumieć późniejszą implementację.

W kolejnym rozdziale został przedstawiony mikrokontroler użyty w projekcie, wraz z dokładnym opisem dostępnych funkcjonalności (nie tylko tych użytych w projekcie). Jak okazuję się w kolejnych rozdziałach brakuje mu kluczowej funkcjonalności z punktu widzenia projektu a mianowicie obsługi standardu USB2.0.

Jednym z najważniejszych rozdziałów jest rozdział opisujący sposób implementacji projektu wraz z załączonym kodem źródłowym. Przedstawiony został tam sposób łatwego wywoływania testu oraz opis krok po kroku co zostaje wykonane przed uzyskaniem rezultatu. Zostaje też przedstawiony łatwy sposób rozszerzalności o kolejne klasy implementujące nowy rodzaj testu.

Rozdział obrazujący rezultaty testów jest najważniejszym w projekcie. Wnioski z wyników nie należą do pozytywnych. Z powodu ograniczeń na mikrokontrolerze w tym ograniczenie obsługi na chipie do standardu USB1.1 (pomimo wlutowanego złącza USB2.0) nie udało się uzyskać minimalnej wymaganej w projekcie prędkości przesyłania danych (17,5 MB/s). Nawet pomimo zasymulowania większego bufora danych (bez poprawnej obsługi odbioru danych po stronie mikrokontrolera w którym zaniechano weryfikacji odebranych danych z powodu niemożności obsługi tak dużego buforu danych).

Warto zaznaczyć, że nie oznacza to iż uzyskanie docelowej prędkości z wykorzystaniem standardu USB2.0 jest nie możliwe (oczywiście z wykorzystaniem innego mikrokontrolera). Standard USB2.0 dopuszcza wielkość bufora 1024 B a co za tym idzie porównując to do obecnej wielkości uzyskamy 16 razy większą.

Na podstawie otrzymanych wyników uzyskanych z wykorzystaniem standardu USB1.1 możemy założyć iż prędkość przesyłu danych z wykorzystaniem USB2.0 oscylowała by w granicach 16 MB/s. Wartość ta jest zależna od odpowiedniej konfiguracji więc możemy dodatkowo przyjąć prędkość 17,5 MB/s jest jak najbardziej osiągalna.